

Prédiction des transformations d'apports organiques aux sols

La SPIR pour la qualification de matières organiques agro-industrielles



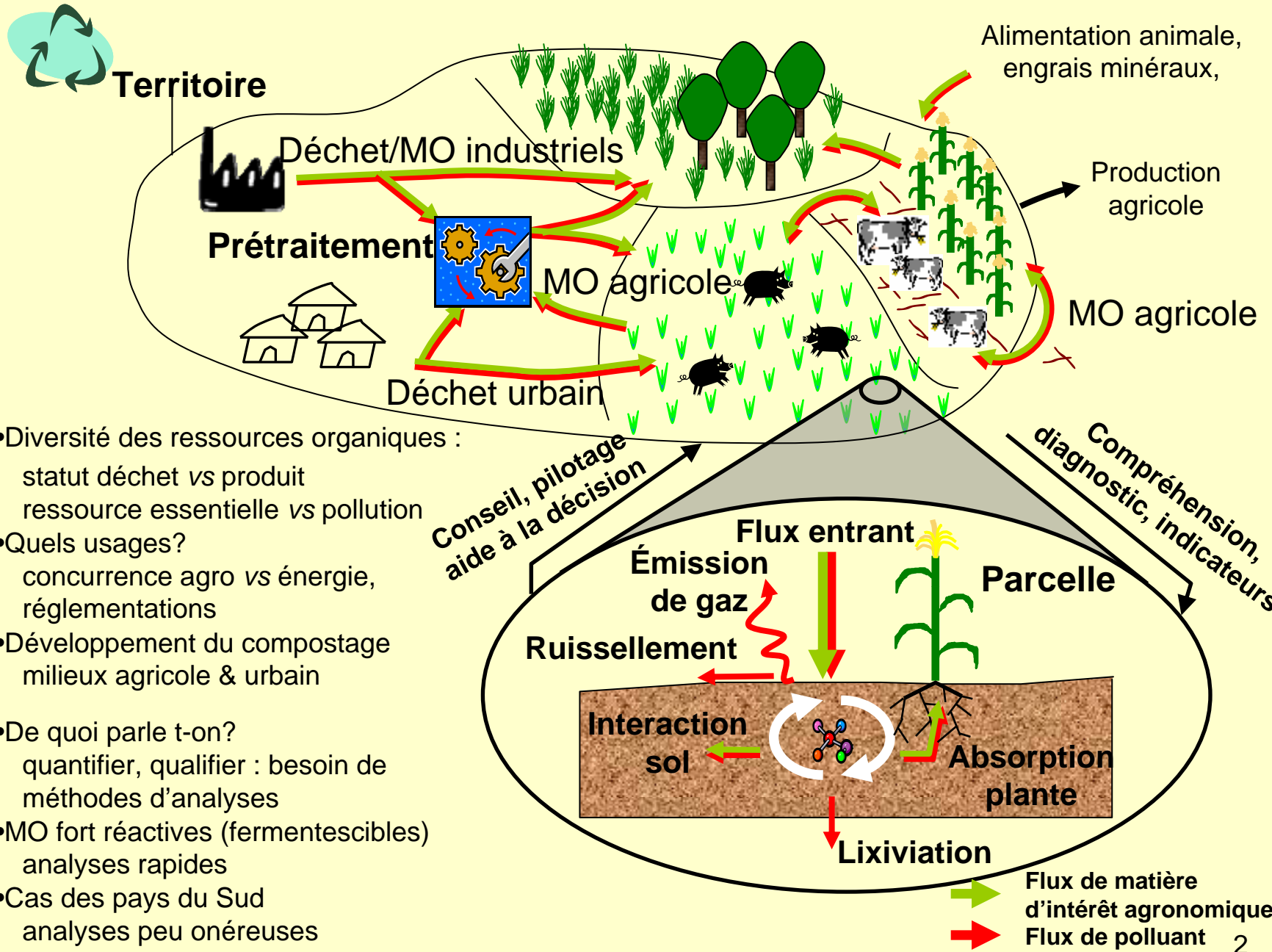
Laurent Thuriès

UR Risque Environnemental Lié au Recyclage

Journées Héliospir Sols, Grenoble, 25/10/2007

+ coll.



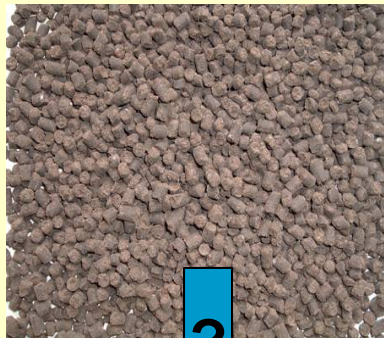


■ Milieu tempéré (cas de la fertilisation organique)

- ✓ Sols: un patrimoine menacé, aussi en milieu tempéré
- ✓ Diversité des ressources organiques
- ✓ Manque de références / efficacité



**Utilisation
rationnelle
freinée**

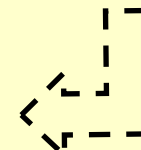
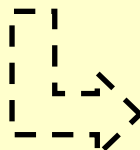


← *fertilisants
organiques
industriels*

*résidus
organiques
divers* →



- Restitution humus et effets sur les propriétés des sols?
- Connaissance, maîtrise de la dynamique de la MO ajoutée?





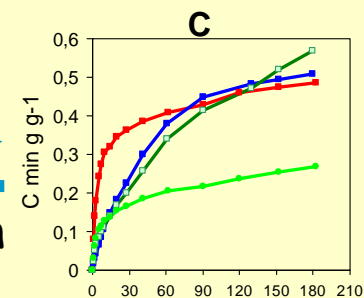
Cinétiques de minéralisation des fertilisants organiques; modélisation

■ Objectifs



Disposer d'indices qualitatifs simples
Prédire les dynamiques C et N

Aide à la décision / orienter la production
(choix des matières, supports, mélanges, process...)



■ Démarche

terrain

laboratoire

modélisation

- ✓ Modélisation (couplage dynamiques C et N)
- ✓ Caractérisation des MO par **SPIR**



- décomposabilité des apports '*a priori*' : **indicateurs**
 - par fractionnement biochimique: AFNOR XP U44-162
 - par incubation (potentiel de minéralisation): AFNOR XP U44-163
 - des outils à tester (ex. SPIR)

utilisations : gestion *a priori* des apports organiques (nature, forme),
choix des matériaux et des procédés de transformation

destination : devenir des résidus végétaux, déchets organiques & sous-produits agricoles



← fertilisants
organiques
industriels

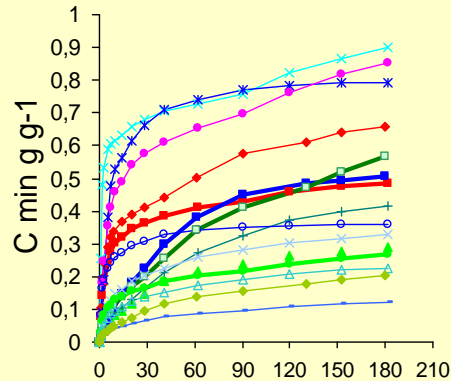
composts locaux
en maraîchage
péri-urbain →



■ Quelques repères

Laboratoire : élaboration d'indicateurs '*a priori*'

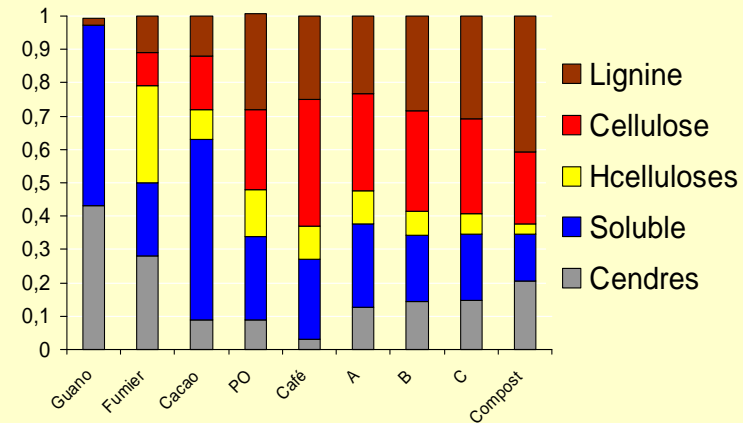
➤ Incubations conditions contrôlées



Analyses:
6 mois; 1200€

Dynamique MO = $f^{\circ}(\text{biochimie})?$

➤ Fractionnement biochimique



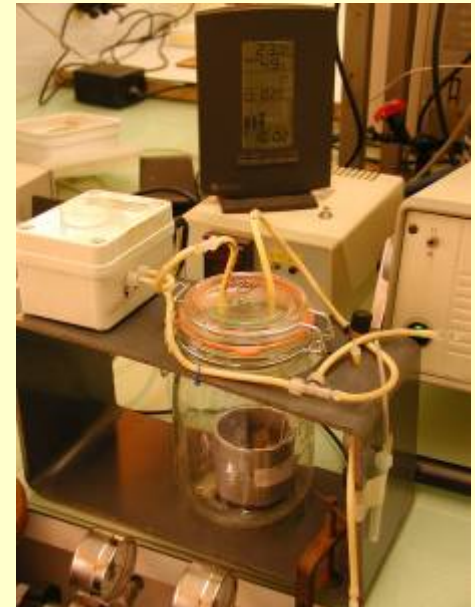
Analyses:
1 semaine; 250€

- Incubation en conditions contrôlées (potentiel de minéralisation)



Incubation (stock étuve 28°C)

dosage CO_2 (CPG)
+ extraction NH_4^+ et NO_3^- de la solution du sol (dosage colorimètre)
+ piégeage NH_3 (dosage colorimètre)
+ dosage N_2O (CPG)



Cf. [2000-1]

AFNOR (2004) 'Norme expérimentale [XP U44-163](#) ; Amendements organiques et supports de culture ; Détermination du potentiel de minéralisation du carbone et de l'azote. Méthode d'incubation en conditions contrôlées.' Afnor, Saint Denis la Plaine, 21p.

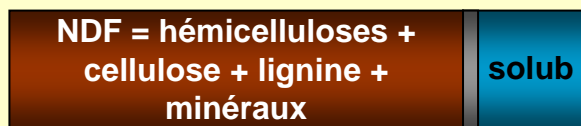
Apport organique brut



- Fractionnement biochimique :
méthode de Van Soest séquentielle modifiée



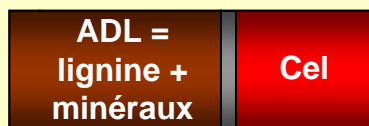
Echantillon séché (40°C)



Extraction au détergent neutre (100°C, 1 heure)
lipides, sucres simples, tanins, protéines, quelques minéraux



Extraction au détergent acide (100°C, 1 heure)
hémicelluloses, quelques minéraux



Extraction acide sulfurique 72% (20°C, 3 heures)
cellulose, quelques minéraux



Calcination finale (550°C, 6 heures)
lignine



AFNOR (2004) 'Norme expérimentale [XP U44-162](#) ; Amendements organiques et supports de culture ; Fractionnement biochimique et estimation de la stabilité biologique ; méthode de caractérisation de la matière organique par solubilisations successives'. *Afnor*, Saint Denis la Plaine, 15p.

- décomposabilité des apports '*a priori*': modèles
 - mécanistes (à compartiments fonctionnels)
 - où compartiments fonctionnels = f^q (fractions mesurables)

Ex. Transformations des Apports Organiques (TAO)

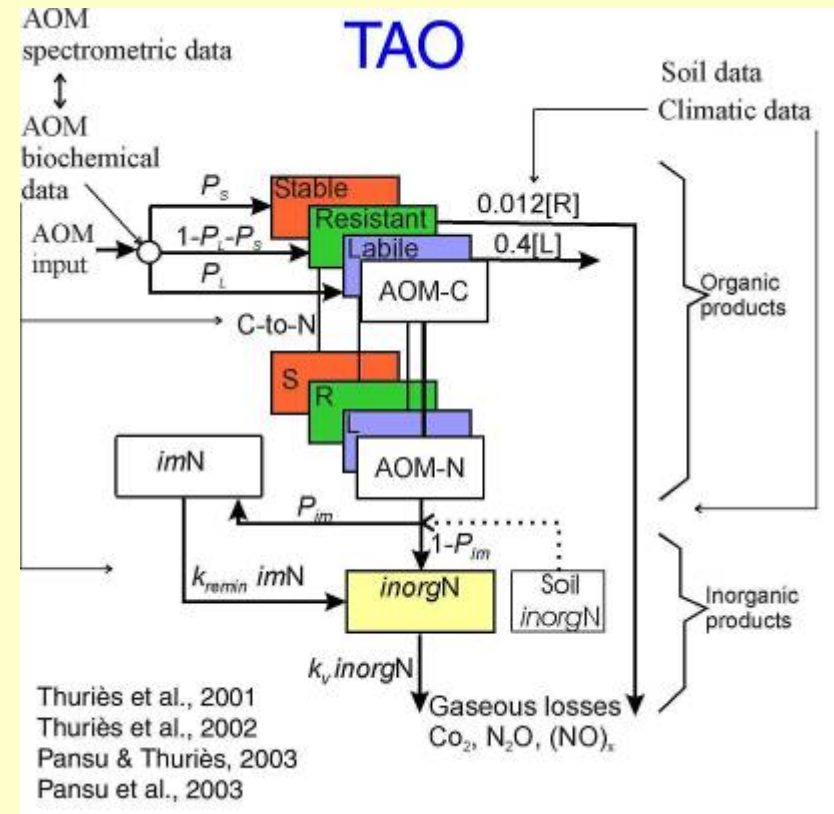
3 compartiments fonctionnels,
échelle de temps : jour, mois (saison)

intérêts:

bon pouvoir explicatif,
comparer les dynamiques d'AO entre
eux & de couples AO-sols

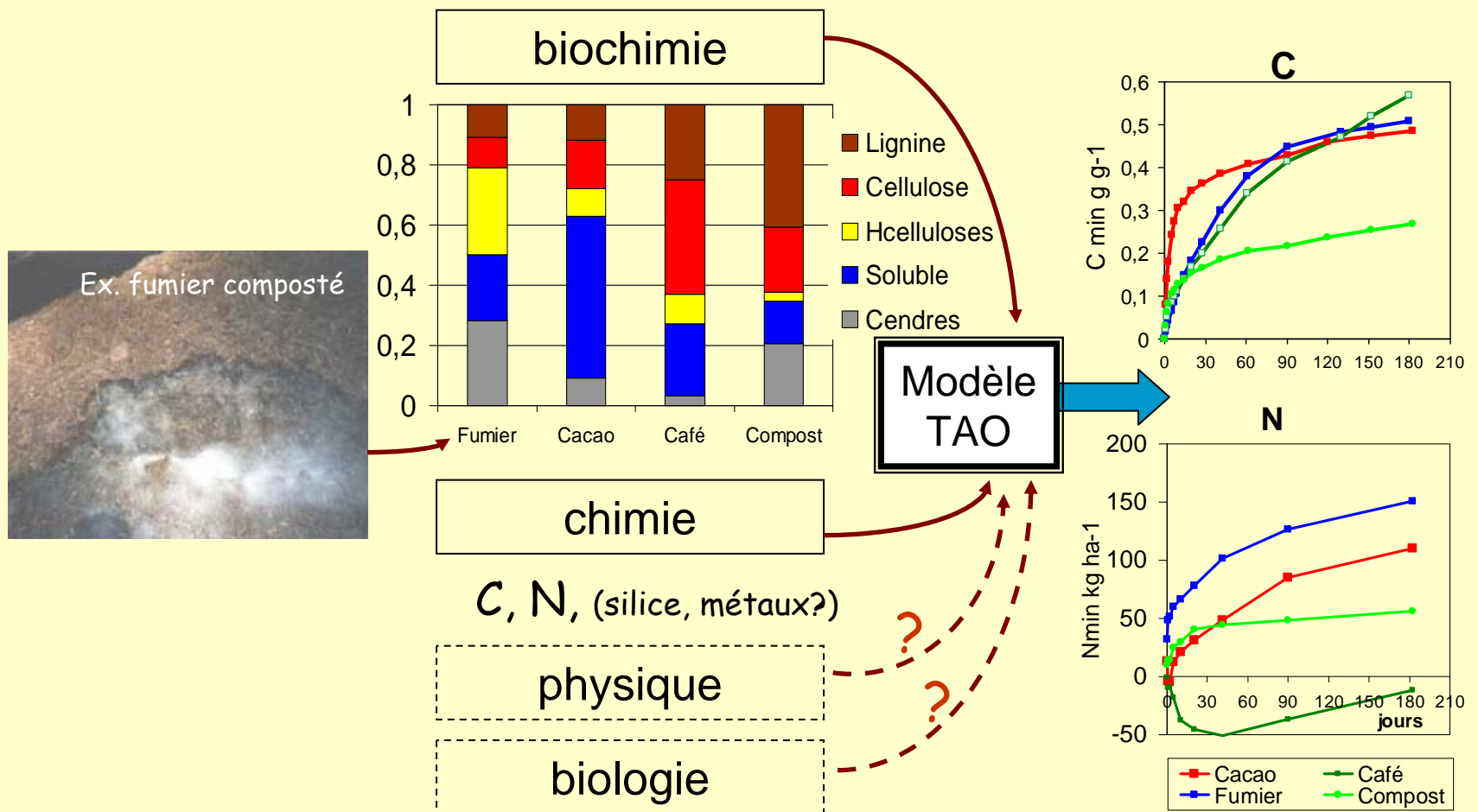
produits : des indicateurs

C (potentiel humique),
N (potentiel minéralisation)



A partir de caractéristiques chimiques et biochimiques, il est possible de modéliser (TAO) les dynamiques de Transformation des AO

- compartiments fonctionnels = f^q (fractions mesurables)
- outils 'de laboratoire' (texture, contact sol, faune... difficilement ou peu pris en compte)



Etude et modélisation de processus dynamiques nécessitent

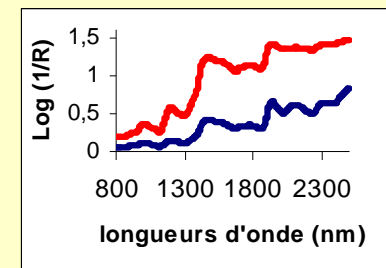
- des jeux de données souvent volumineux
- des analyses répétées dans le temps & l'espace

■ Élaborer une **base de données**



- par des analyses de référence caractéristiques
 - des apports organiques
 - des matières organiques des sols
- au laboratoire, sur le terrain, & données publiées
- pour une capitalisation de données

■ Un **outil** : la Spectroscopie Proche Infra-Rouge



Cf. [2005-2] (Thuriès et al., 2005 'Prediction by NIRS of the composition of plant raw materials from the organic fertiliser industry and of crop residues from tropical agrosystems.' JNIRS, 13, 187-199.)

- Appareillage SPIR de laboratoire

Spectromètre FOSS NIRsystem 6500

à passeur d'échantillons



Modifié d'après CIRAD EMVT, Montpellier

- automatique
- grande capacité
- 200 / jour

TAO, la SPIR et leurs applications

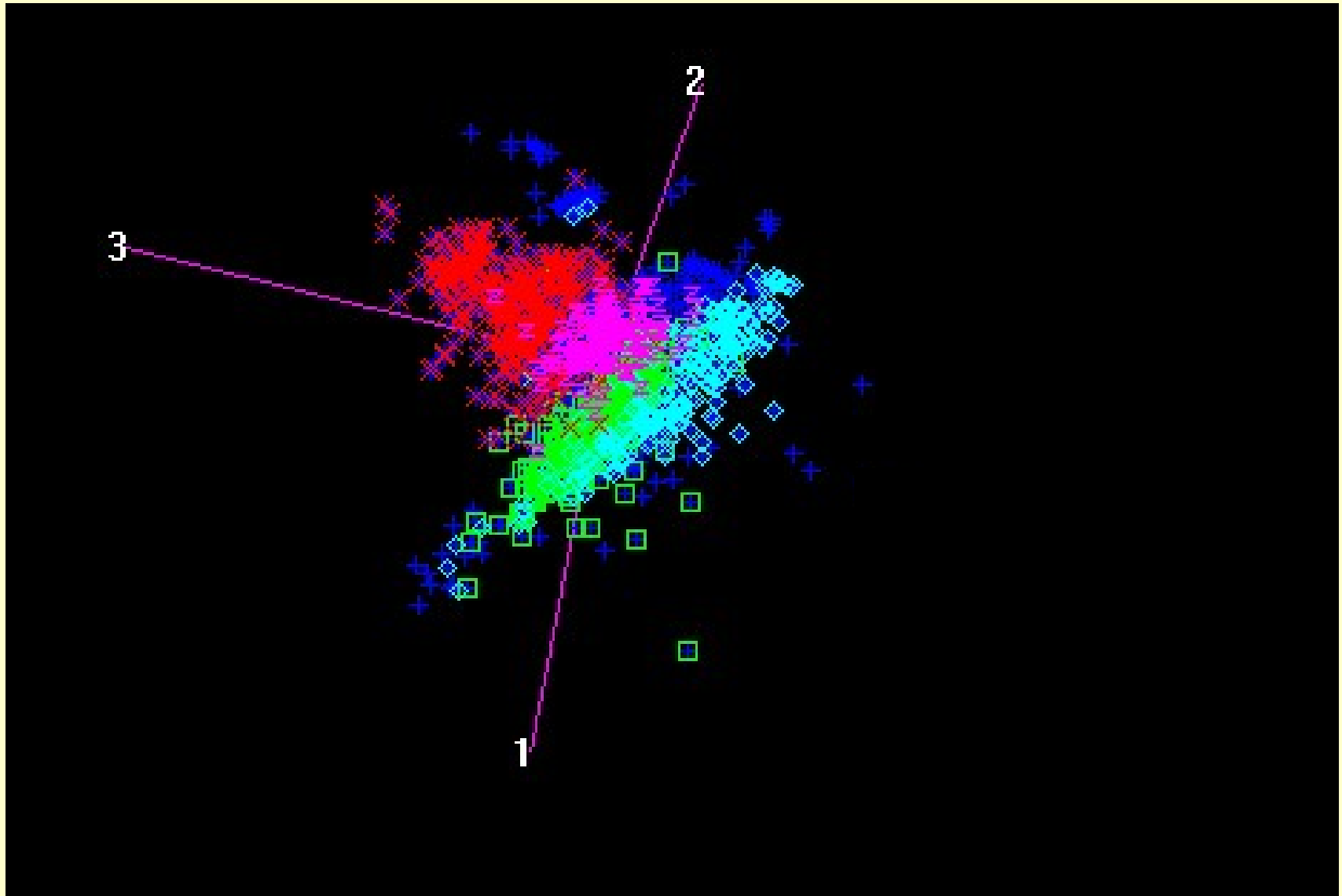
- Constitution d'une **base de données**
- Un **outil** : la Spectroscopie Proche Infra-Rouge (SPIR)

Quelques exemples en production de fertilisants organiques

- 1) Analyses MO, N, lignine
- 2) Potentiel d'humification des apports organiques (ex. ISB-CBM Tr)
- 3) Dynamiques de transformation de la MO (TAO)
- 4) Aide à la maîtrise du compostage

Cas des matières organiques fermentescibles

■ nature des produits



Analyse Comp Princ. données spectrales d'AOrganiques, Tourteaux Végétaux, EOMinéraux et EOM bio

■ Cas des bases **hétérogènes**

Vous avez des bases hétérogènes : travaillez donc sur des bases plus homogènes!



Merci, mais dans les domaines agricoles, il n'est pas toujours possible d'avoir **à la fois** des ensembles de données **homogènes** et suffisamment **étendues** pour un calibrage SPIR...

Avant de dire que c'est impossible: essayons!

Objectif: comparer différentes stratégies de calibrage.

1. modèles élaborés sur un ensemble englobant **différents** sous-ensembles,
2. à comparer à des modèles élaborés sur les sous-ensembles **'purs'**

Fig 1. : prédictions SPIR sur des bases 'pures' vs hétérogènes

■ Cas des bases hétérogènes

Tableau 1a et 1b : Performance des modèles de calibrage pour Ntot et MO

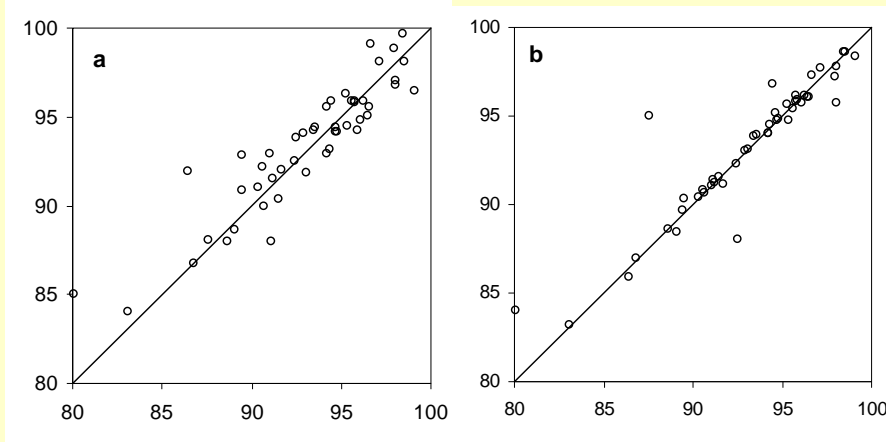
N total (% MS)	population			Statistiques d'étalonnage			
	n	m	SD	SEC	R ²	SECV	RPD _{cv}
Ensemble global	272	2.30	0.54	0.16	0,91	0.17	3.1
Pulpes de raisin humides	53	2.56	0.36	0.10	0.92	0.17	2.1
Pulpes de raisin sèches	50	2.31	0.17	0.10	0.63	0.12	1.4
Pépins de raisin déshuilés	44	1.99	0.26	0.12	0.79	0.14	1.9
Tourteaux de café	32	0.46	0.46	0.11	0.94	0.17	2.6
Cacao dégraissé	48	2.84	0.64	0.15	0.95	0.18	3.7
Pulpes d'olive	43	1.83	0.18	0.10	0.69	0.12	1.5
MO (% MS)							
Ensemble global	309	93.2	2.96	0.94	0.90	1.07	2.8
Pulpes de raisin humides	54	92.1	1.67	0.73	0.81	1.27	1.3
Pulpes de raisin sèches	47	92.4	1.64	0.59	0.87	0.91	1.8
Pépins de raisin déshuilés	40	95.8	0.94	0.47	0.75	0.59	1.6
Tourteaux de café	26	98.8	0.77	0.28	0.86	0.44	1.7
Cacao dégraissé	49	90.9	1.26	0.75	0.64	0.86	1.5
Pulpes d'olive	46	91.4	1.78	0.57	0.90	0.78	2.3
Résidus tropicaux	43	93.4	3.59	0.41	0.99	0.92	3.9

Modèles globaux ~OK pour Ntot et MO ($R^2 \geq 0.9$; $RPD \approx 3$), même si hétérogènes

En général, mieux prédits pour les bases homogènes (ex MO: SEC 1/3 à 3/4 de SEC ensemble global; idem pour SECV sauf cas particulier; en moyenne **SECV MO 0.82 g 100g⁻¹ MS**)

■ Cas des bases hétérogènes

Figure 2. Prédictions de la MO pour la base “tropicale” avec (a) l’équation élaborée sur l’ensemble global et (b) l’équation dédiée ‘topicale’.



Pour Ntot, SEC ‘pures’ < SEC ‘global’;

SECV ‘pures’ ≤ SEC ‘global’ (sauf cacao où outliers augmentent SECV).

En moyenne pour Ntot, **SECV ≈ 0.15 g 100g⁻¹ MS**.

Pour les bases ‘pures’ (sauf cacao), SECV >> SEC, alors que pour les bases ‘globales’ SECV ≈ SEC. Les modèles développés pour les bases ‘globales’ ont tendance à être plus stables que ceux développés pour les bases ‘pures’.

Pour Ntot et MO, les **SECV << tolérances normatives** (max 3.0 g 100g⁻¹ poids frais pour MO, et min-max 0.2 – 0.3 g 100g⁻¹ poids frais pour Ntot) pour les amendements organiques (AFNOR NFU#44051).

Calibrations sur bases ‘pures’ semblent légèrement meilleures (SECV) que sur bases ‘globales’. Toutefois, les modèles sur bases ‘globales’ (compilation des ‘pures’, donc hétérogènes) ont une capacité prédictive acceptable; cette stratégie est donc utile.

■ Teneurs en lignine, MO, Ntotal

Tableau 2: Performance des modèles de calibrage

(en % MS)	n	population		statistiques			
		moy	SD	SEC	R ²	SECV	RPD _{cv}
Lignine	124	28.1	16.0	3.03	0.96	3.51	4.6
Matière Organique	317	93.2	3.0	0.78	0.93	0.97	3.1
Azote Total (Kjeldahl)	271	2.3	0.5	0.16	0.92	0.18	3.0

**Performance
OK**

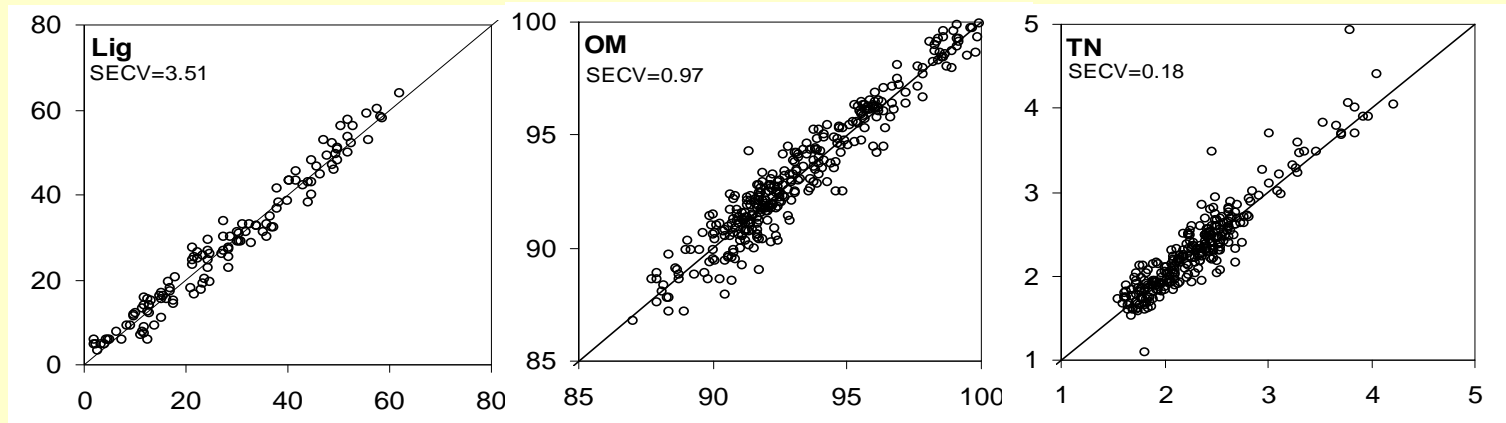


Figure 3: Prédiction des teneurs en lignine (Lig), matière organique (OM) et azote total (TN)

Considérant le coût et le temps nécessaires pour des analyses de ces paramètres par des méthodes de référence, la performance et la précision de l'estimation par SPIR sont très correctes

Cf. [2005-2]

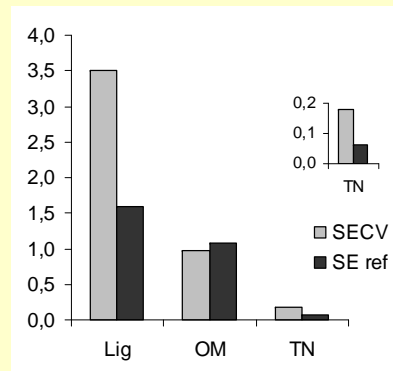


Figure 4: SE ref, (ET valeurs de référence), et SECV, (ET résiduel, précision).

**Précision
OK**

■ Potentiel d'humification des apports organiques (CBM Tr), rapports Lig/N et C/N

	population		Statistiques d'étalonnage				
	n	moyenne	SD	SEC	R ²	SECV	RPDcv
CBM-Tr (en % MS)	118	65,92	28,02	5,59	0,96	5,96	4,7
Lig/N	76	16,17	7,21	1,83	0,94	2,36	3,1
Ce/N	264	23,38	4,92	1,71	0,88	1,94	2,5

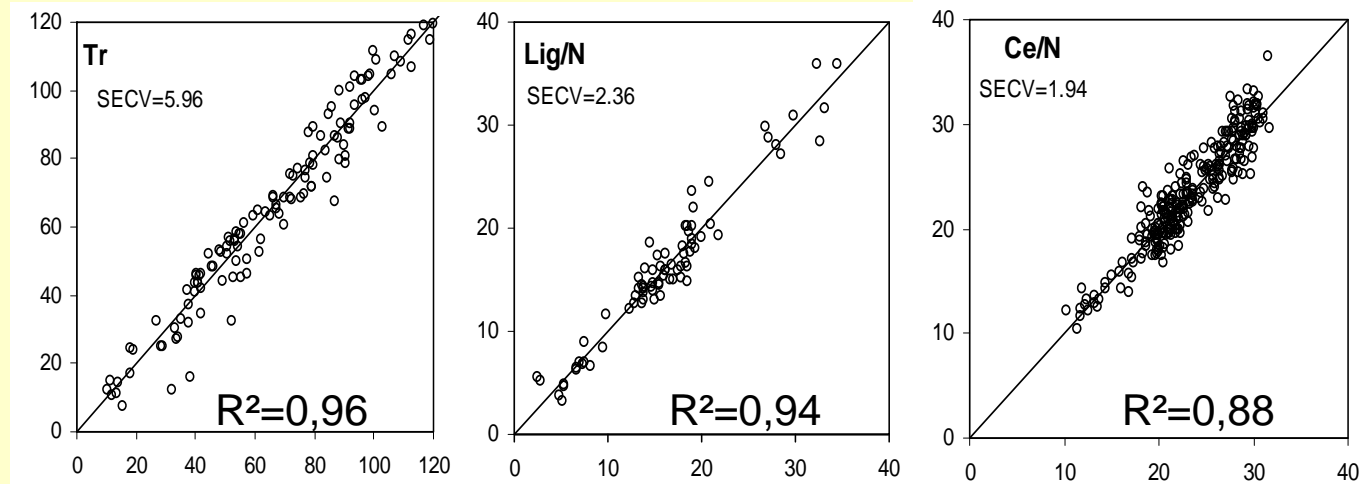


Figure 5: Prédiction des indicateurs de qualité: CBM-Tr, Lignine/N, et C/N estimé (0.5 MO/N)

Performance:

- OK pour CBM-Tr et Lignine/N
- Satisfaisante pour une estimation du rapport C/N
(caractérisation rapide, marquage dans **NFU 44 051** modifiée)

■ Expression des potentiels:
utilisation de SPIR et TAO pour les dynamiques de
transformation C (et N) des AO

Modèle TAO : 1^{er} ordre 3 compartiments,

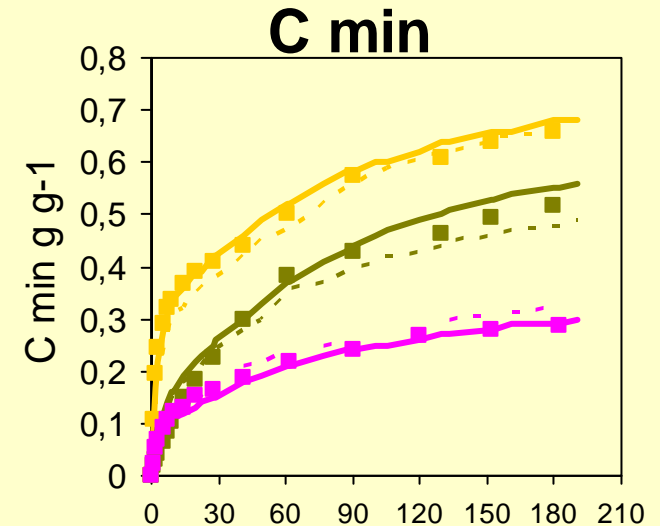
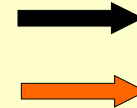
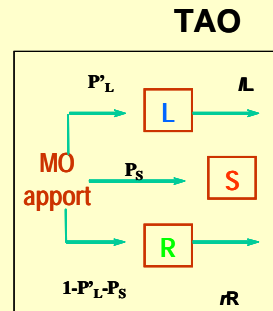
L, labile

R, résistant

S, stable

l cte minéralisation de **L**

r cte minéralisation de **R**



$P_L, P_R, P_S = f^o$ (NDSoluble, Hémicelluloses, Cellulose, Lignine, MO, Nt)

mesures de laboratoire



ou



prédictions par SPIR



Figure 6. : Utilisation du modèle TAO à partir de données mesurées ou prédites par SPIR : ex. des caractéristiques biochimiques

Cf. [2006-1]

■ Expression des potentiels

Matériaux d'origine végétale issus de l'industrie agro-alimentaire :
pulpes (raisin, olive), tourteaux (café, cacao).

Teneurs en fraction 'soluble au détergent neutre', hémicelluloses, cellulose et lignine, mesurées selon **AFNOR XPU 44-162** (2004), Carbone et Azote Dumas, MO et cendres par calcination.

Les calibrations SPIR ont été élaborées à partir d'un ensemble de 146 échantillons (Thuriès et al., 2005) comprenant les matériaux illustrés ici.

Jeux de données pour TAO-C:

- 1) la composition biochimique **mesurée au laboratoire** des MOA dont les cinétiques ont été mesurées ;
- 2) la moyenne de la composition biochimique **estimée par SPIR** sur un ensemble de MOA de même nature (ex : 40 pulpes d'olives) ne possédant pas de mesure de référence de laboratoire.

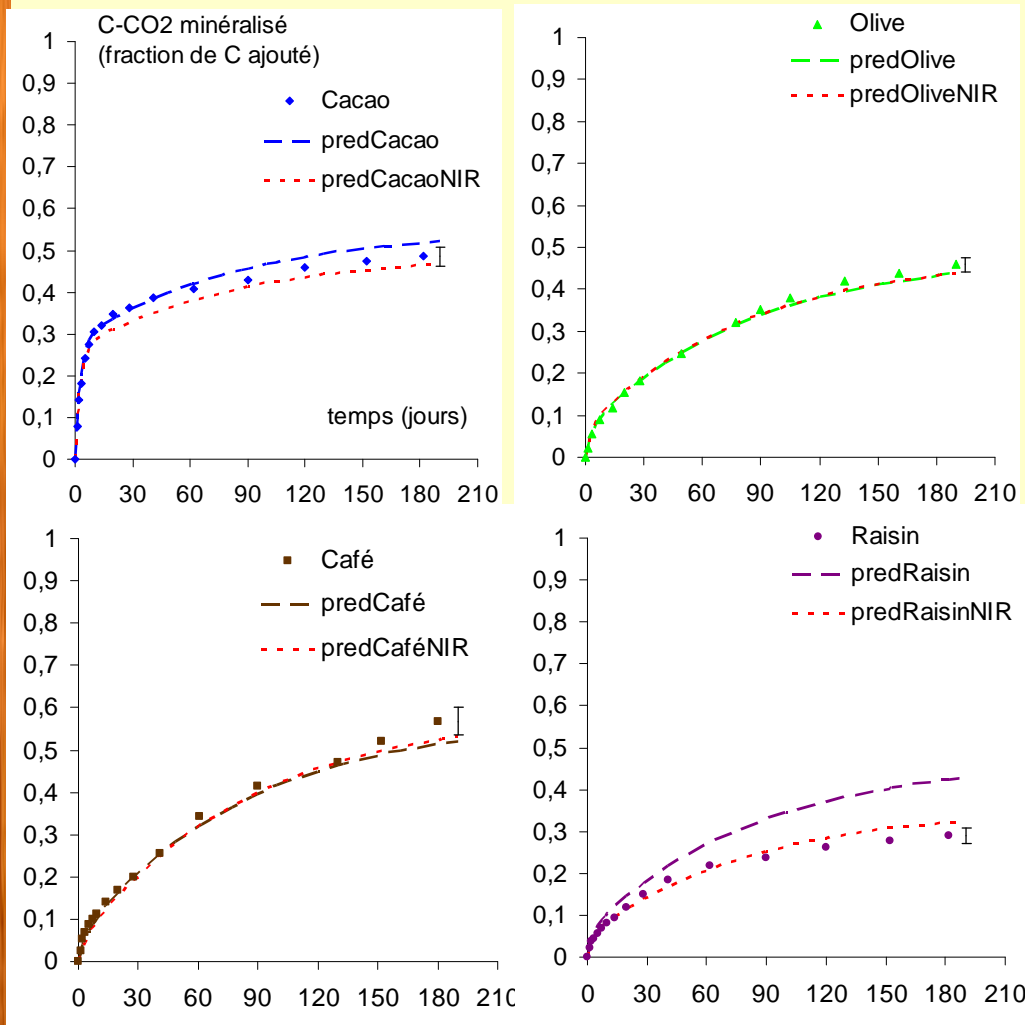
Tableau 3: Composition mesurée vs prédite par SPIR

en %MS	NDSol		Hcel		Cel		Lig	
mesure labo								
cacao	53,8		9,3		15,5		12,4	
raisin	29,2		10,5		23,0		30,2	
olive	24,6		13,7		24,1		28,8	
café	24,0		9,7		38,0		25,2	
NIR								
cacao	50,5	5,6 [§]	11,3	2,6	16,0	2,2	14,0	6,0
raisin	29,9	8,9	7,2	2,6	17,2	4,6	37,1	8,0
olive	31,8	5,8	13,4	2,6	19,3	2,8	28,5	6,2
café	25,7	6,6	2,1	7,9	32,5	6,6	24,4	7,6

Bonne relation
mesuré vs estimé SPIR

Cf. [2005-2] [2006-1]

■ Expression des potentiels

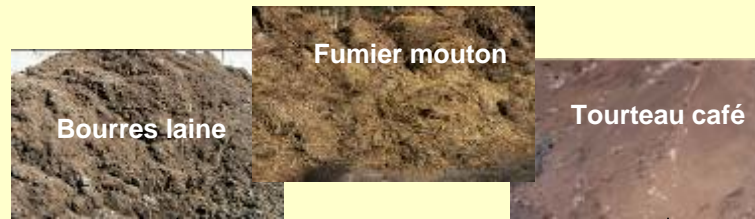


En toute logique, les cinétiques de minéralisation du C des apports illustrées dans cette étude sont bien simulées par TAO-C à partir des caractéristiques biochimiques **mesurées** au laboratoire, puisqu'elles étaient comprises dans l'ensemble des apports utilisés initialement (Thuriès et al., 2001) pour paramétrer le modèle.

Il est intéressant de remarquer que les cinétiques de minéralisation du C sont également très bien simulées par TAO-C à partir de caractéristiques biochimiques **prédites par SPIR**. La qualité de ces simulations égale (cas des Cacao, Olive, Café) ou semble même dépasser (Raisin) celle des simulations obtenues à partir des caractéristiques mesurées.

Figure 7: Prédications par TAO-C de la fraction de C minéralisé; variables d'entrée mesurées ou prédites par SPIR (barres = intervalles de confiance)

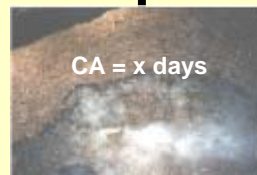
■ Suivi de process : le compostage



Mélange



Compostage



Pred SPIR

NON

Thermophilic
Phase complete ?

OUI

Retournement



Contexte: composter des MO agro-industrielles pour élaborer des fertilisants organiques de qualité connue (et constante). Pour l'industriel, importance du contrôle qualité durant l'élaboration.

Une étape clé: la phase thermophile.

Objectif: respecter cette phase sans dépassement inutile du temps de compostage.

Explorer la possibilité de prédire par SPIR le **degré de compostage**.

Au démarrage d'une nouvelle fabrication, le mélange initial d'un andain de plus de 2000 tonnes peut nécessiter plusieurs semaines (jusqu'à 12). Aussi, il est intéressant de mieux connaître le degré de compostage d'un andain élémentaire.

Cf. [2005-4] [2006-11]

Figure 8: Utilisation de prédictions NIR pour gérer les premières phases de l'élaboration des composts

■ Suivi de process : le compostage

Tableau 4: Performance du modèle de calibrage général

(j)	Population			Statistiques d'étalonnage			
	n	m	SD	SEC	R ²	SECV	RPD
Degré de compostage	83	32.4	23.5	9.35	0.84	9.8	2.4

Degré de compostage (DC) varie bcp (SD, Tableau 4): on considère les bases en cours de compostage provenant de 6 séries différentes de DC 0 à 103 j.

Une série = un andain unique échantillonné régulièrement pendant la phase thermophile.

Modèle ~OK (R² près de 0.9) mais RPD < 3.

SECV proche de SEC : modèle ~robuste.

Tableau 5: Performance du modèle de calibrage particulier

(j)	Population			Statistiques d'étalonnage			
	n	m	SD	SEC	R ²	SECV	RPD
Degré de compostage	22	50.4	32.6	6.04	0.97	6.96	4.7

Autre stratégie. Modèle MLR (Tableau 5) élaboré sur une seule série de 22 échantillons du même andain. SD tjs élevé.

SEC réduit de près d'1/3 par rapport à SEC du modèle général.

R² > 0.95, et SECV < 7 j. RPD >> 3.

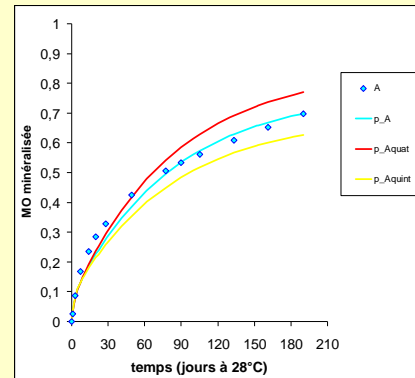
SECV proche de SEC : modèle ~robuste.

Objectif futur : SECV ~4 j et <

■ Utilisations de SPIR / fertilisants organiques

1) aider à la maîtrise des procédés de fabrication

2) prédire les potentiels d'humification, et les dynamiques de la MO



dynamiques de
transformation de la MO
(TAO)

calcul du potentiel humus =
 f° (lignine....)



Production ajustement
offre-demande

suivi élaboration (âge)

Cf. [2005-4]

utilisations : gestion *a priori* des apports organiques - déchets organiques & sous-produits agricoles ou urbains - (nature, forme), choix des matériaux & procédés de transformation



- filière porcine : La Réunion, Vietnam, Bretagne



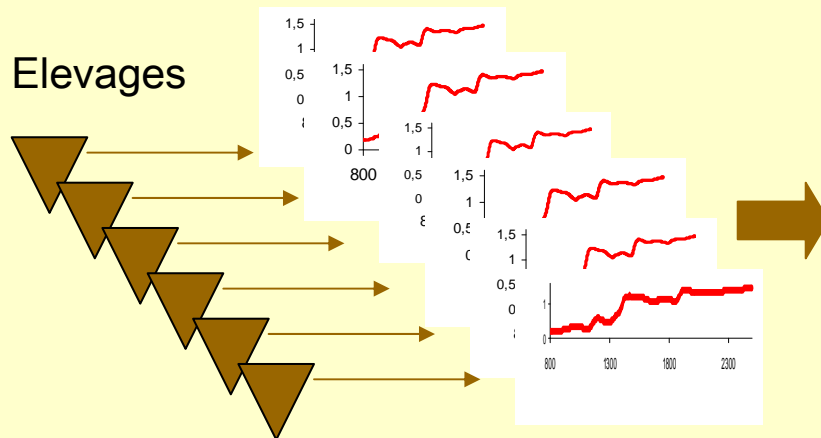
- filière avicole : La Réunion, Bretagne



- filières urbaines : mégapoles africaines ; risque environnemental et sanitaire (ETM) en situation périurbaine

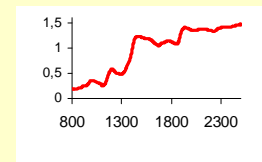
- filière porcine : La Réunion (Lycée St Joseph)
 - Projet QUALISPIR® (aide MiOM) Qualification par la SPIR de produits issus d'un traitement biologique des lisiers

Lisiers bruts $n = f(d, t)$



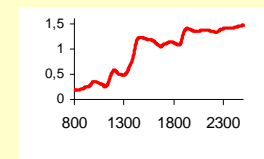
Homogénéisés

$n = f(t)$

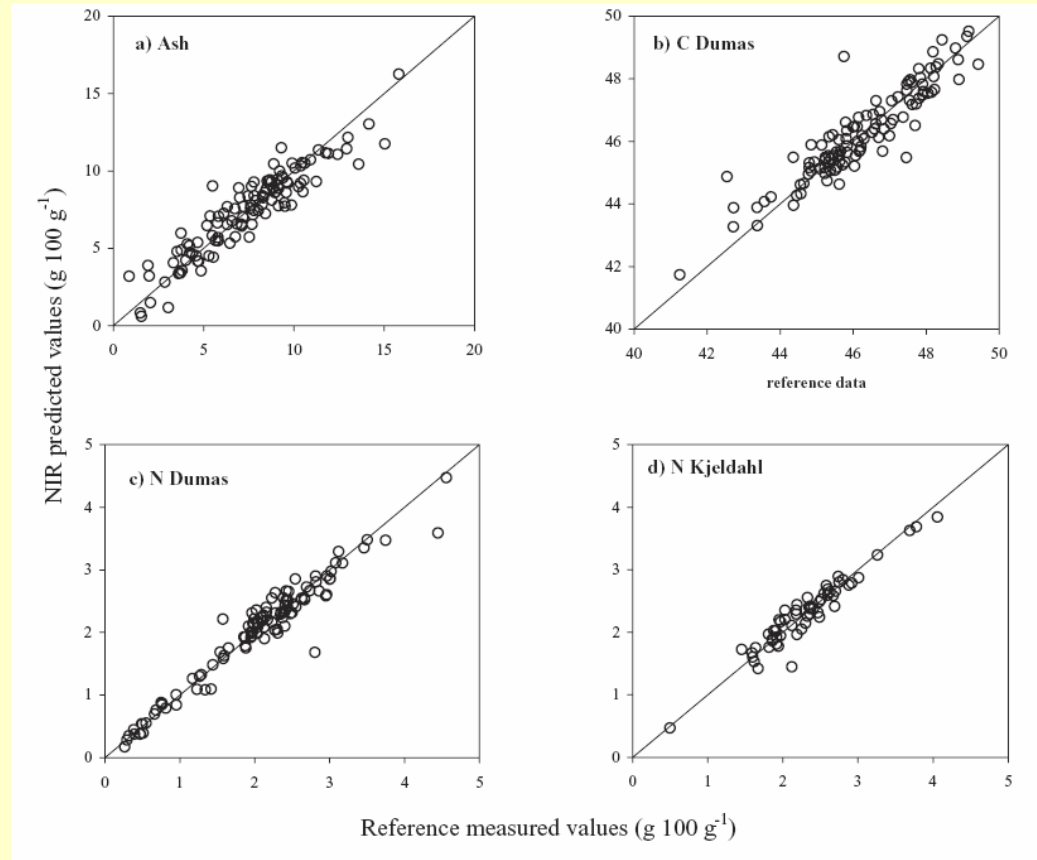
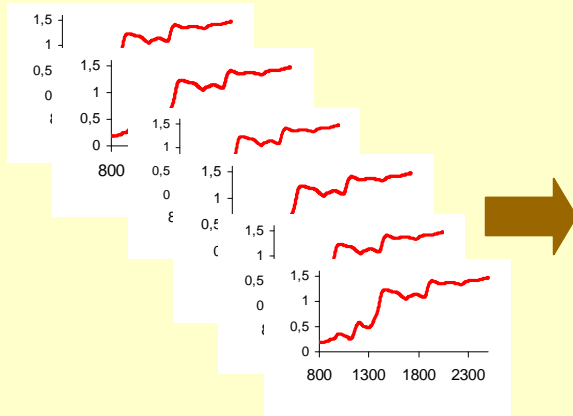


Co-produits solides

$n = f(t)$

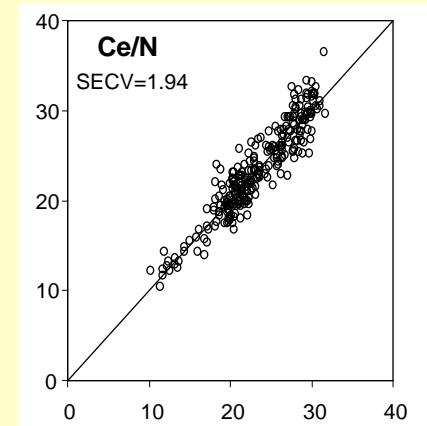
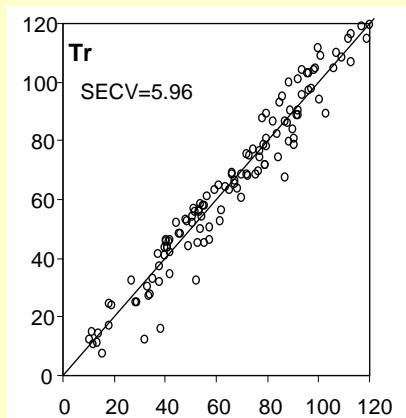
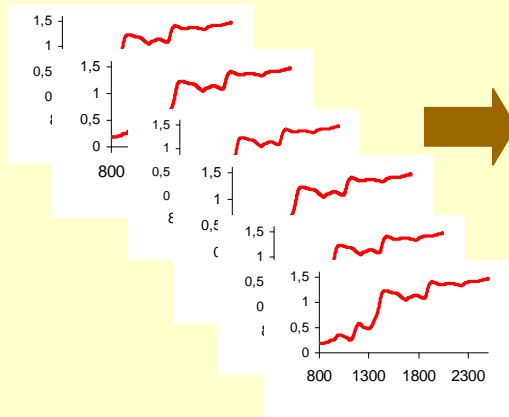


■ QUALISPIR® : produits attendus



Modèles SPIR : MS, MO, C, N
variabilité appro (t, d)
qualité agronomique

■ QUALISPIR® : produits attendus



Modèles SPIR : **CBM-Tr, C/N**
variabilité (t, d)
qualité agronomique

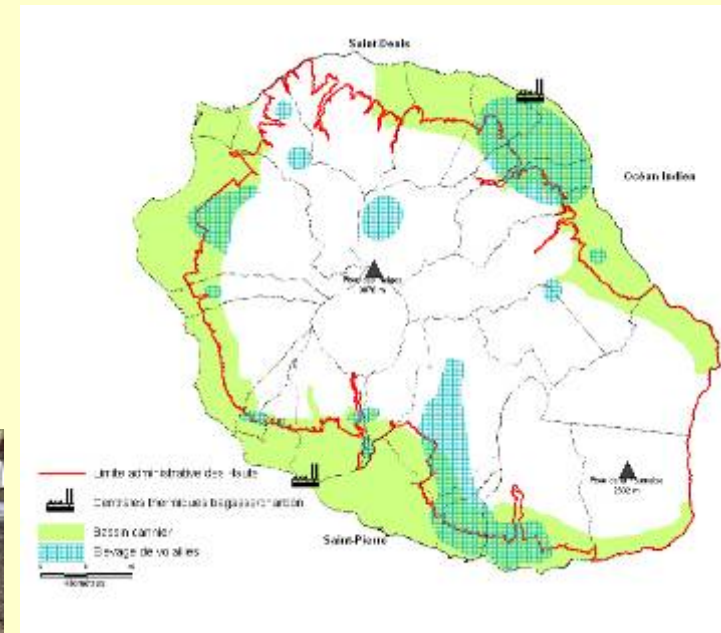
Normes NFU 44051, (XP U 162)
Statut de déchet vers matière fertilisante
Lever les contraintes d'épandage

- filière avicole : La Réunion,
 - Projet INCIVOL: valorisation énergétique vs agronomique



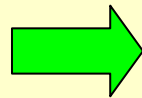
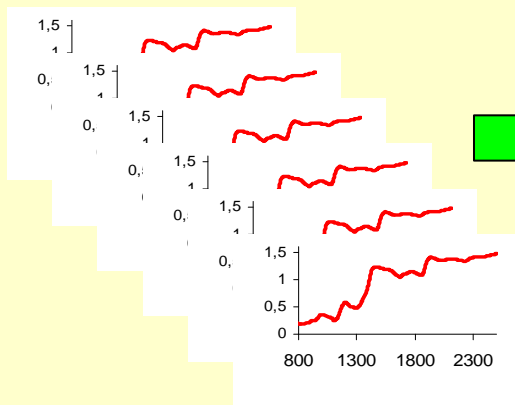
Aider au choix de la filière d'élimination des litières

- filière avicole : La Réunion,
 - Projet INCIVOL



$Q = f[\text{litières, espèces, taille des bâtiments, saison, localisation, altitude (climat)}]$

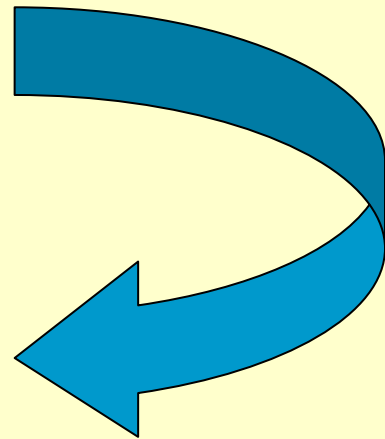
- filière avicole : La Réunion,
 - Projet INCIVOL: produits possibles



Modèles SPIR : MS, MO, N + valeur énergétique?

Modèles SPIR : C/N
variabilité (t, d)
qualité agronomique

Normes NFU 42001, (XP U 162)
Statut de déchet vers matière fertilisante
Lever les contraintes d'épandage



■ Normalisation des matières fertilisantes (et support de culture)

Exigences de la Réglementation Française:

« Toute matière fertilisante (et support de culture)
doit être soumise à Autorisation de Mise sur le Marché (A.M.M.) ou
homologation

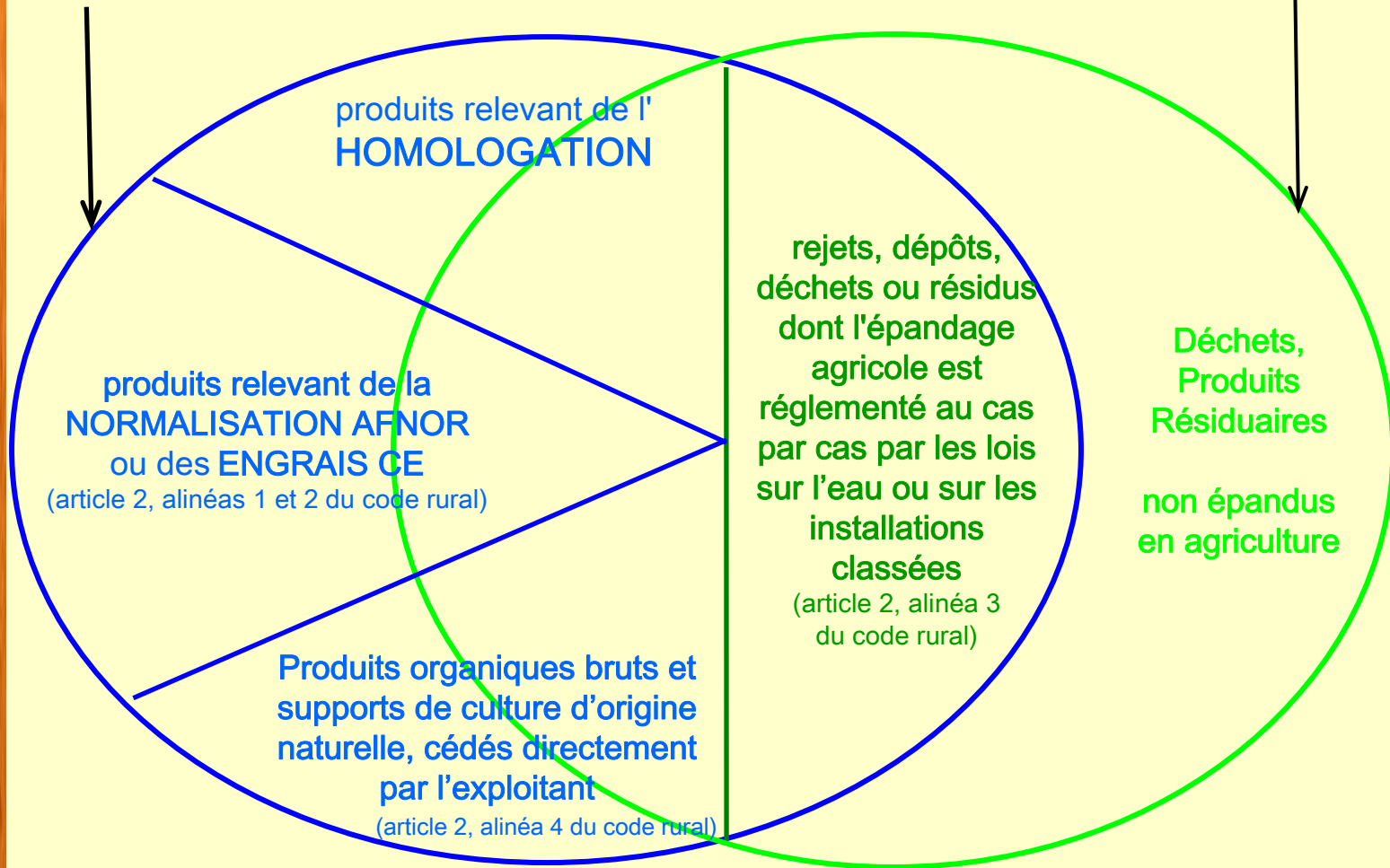
sauf si elle répond aux exigences d'une norme française rendue
d'application obligatoire. »

La normalisation est une dérogation qui concerne plus de 95% des
fertilisants organiques

Matières fertilisantes et supports de culture

(Code rural art. L.255-1 à L.255-11)

Déchets, boues, produits résiduels



■ Normalisation des matières fertilisantes (et support de culture)

- **Norme 44-095** depuis Mars 2004
 - Composts de boues apparentés aux AO et désigné composts de MIATE (Matières d'Intérêt Agronomique issues du Traitement des Eaux)
- **Norme 44-051** Avril 2005
 - Composts d'ordures ménagères (FFOM)
 - Composts de déchets verts
 - Amendements organiques « traditionnels »

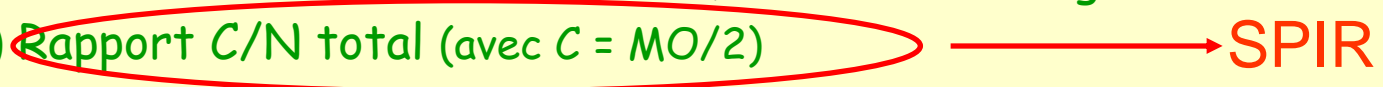
- Normalisation des matières fertilisantes (et support de culture)
 - Cas de la norme AFNOR Amendements Organiques NFU 44-051

Dénominations et spécifications

- 1 Fumiers Déjections animales avec litière
- 2 Déjections animales sans litière Déjections animales sans litière, (lisiers et fientes)
- 3 Fumiers et/ou lisiers et/ou fientes compostés
- 4 Compost vert végétaux issus tout ou partie de l'entretien jardins et espaces verts
- 5 Compost de fermentescibles alimentaires et/ou ménagers
fraction fermentescible des déchets ménagers et assimilés avec ou sans autres matières de la présente norme
- 6 Matière végétale Matière végétale (mono-produit)
- 7 Matières végétales en mélange matières végétales dont certaines compostées
- 8 Mélange matières végétales et matières animales mat. végét. (>50 % MS mélange)
- 9 Compost végétal Matière(s) végétale(s), seule(s) ou en mélange, à l'exclusion des végétaux issus de l'entretien des jardins et espaces verts
- 10 Compost de matières végétales et animales
- 10b Compost de champignonnière

- Normalisation des matières fertilisantes (et support de culture)
 - Cas de la norme AFNOR Amendements Organiques NFU 44-051

Marquage obligatoire

- 1) Terme « *AMENDEMENT ORGANIQUE* » « *NF U 44-051* »
- 2) Dénomination de la présente norme (+ éventuellement mention « *avec engrais* »)
- 3) Liste matières premières ($>5\%$ PB) ordre décroiss. + espèce(s) animale(s) concernée(s)
- 4) Teneurs déclarées en MS, MO, N total et N orga. en % PB
- 5) Rapport C/N total (avec $C = MO/2$)  **SPIR**
- 6) Teneurs en P_2O_5 , K_2O , MgO en % PB (si $>0,5\%$)
- 7) Produits contenant des oligos « *ne pas dépasser la dose préconisée* »
- 8) Dose(s) d'emploi préconisée(s)
- 9) Nom ou raison sociale ou marque, responsable de la mise sur le marché
- 10) Produits importés, nom du pays d'origine hors Espace Européen
- 11) Masse nette
- 12) Mention: « Recommandation d'emploi : ne pas ingérer. .. »
- 13) Identification du lot

- Normalisation des matières fertilisantes (et support de culture)
 - Cas de la norme AFNOR Amendements Organiques NFU 44-051

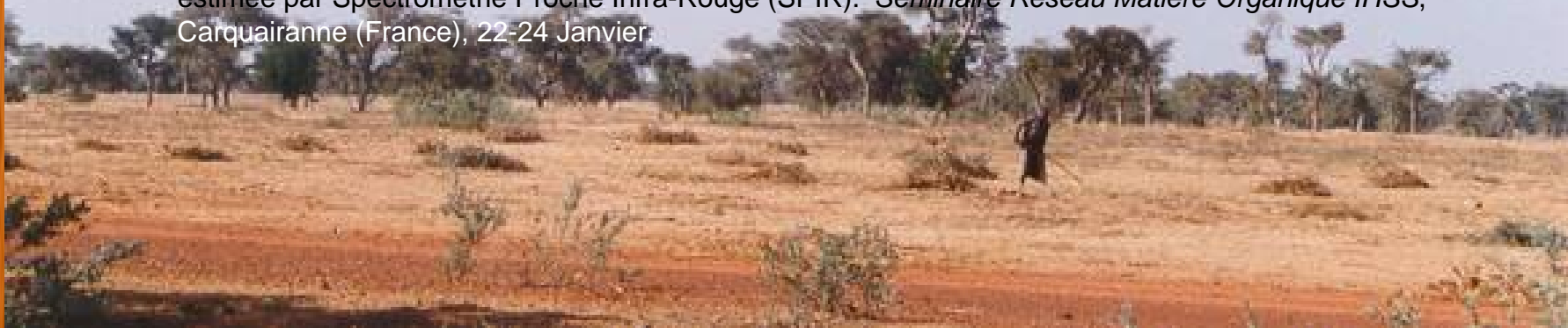
Marquage facultatif

- 1) Marque du fabricant, toute marque garantie et/ou certification
- 2) Mode d'obtention
- 3) Matières premières < 5 % PB
- 4) pH
- 5) Composition granulométrique
- 6) Teneurs en P_2O_5 et K_2O total si < 0,5 %
- 7) Fractionnement biochimique MO (méthode XP U44-162) et minéralisation potentielle C et N (méthode XP U44-163)
- 8) Classification agronomique du produit, méthodes pt 7
- 9) Conductivité électrique
- 10) Effet alcalinisant par incubation (EAI) compost champ.
- 11) Masse volumique.

↓
SPIR

Repères

- [2000-1] Thuriès L., Larré-Larrouy M.-C., Pansu M. (2000) 'Evaluation of three incubation designs for mineralization kinetics of organic materials in soil.' *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31 (3-4), 289-304.
- [2001-1] Thuriès L., Pansu M., Feller C., Herrmann P., Rémy J.-C. (2001) 'Kinetics of added organic matter decomposition in a Mediterranean sandy soil' *Soil Biology and Biochemistry*, 33, 997-1010.
- [2002-1] Thuriès L., Pansu M., Larré-Larrouy M.-C., Feller C. (2002) 'Biochemical composition and mineralization kinetics of organic inputs in a sandy soil' *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 239-250.
- [2003-1] Pansu M., Thuriès L. (2003) 'Kinetics of C and N mineralization, N immobilization and N volatilization of organic inputs in soil' *Soil Biology and Biochemistry*, 35, 37-48.
- [2003-2] Pansu M., Thuriès L., Larré-Larrouy M.-C., Bottner P. (2003) 'Predicting N transformations from organic inputs in soil in relation to incubation time and biochemical composition' *Soil Biology and Biochemistry*, 35, 353-363.
- [2005-1] Thuriès L., Bastianelli D., Davrieux F., L. Bonnal, R. Oliver, Pansu M., Feller C. (2005) 'Prediction by NIRS of the composition of plant raw materials from the organic fertiliser industry and of crop residues from tropical agrosystems.' *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 13, 187-199.
- [2005-2] Thuriès L., Bastianelli D., Davrieux F., Bonnal L., Oliver R., (2005). 'Prediction by NIRS of the biochemical composition of various raw materials used in the organic fertiliser industry. Poster communication 12th International Conference on Near Infrared Spectroscopy, Sky City Auckland, New Zealand, 10-15 Avril 2005
- [2005-3] Thuriès L., Davrieux F., Bastianelli D., Bonnal L., Oliver R., (2005). 'NIRS for predicting quality indexes in the organic fertiliser industry.' Poster communication 12th International Conference on Near Infrared Spectroscopy, Sky City Auckland, New Zealand, 10-15 Avril 2005
- [2005-4] Thuriès L., Bonnal L., Davrieux F., Bastianelli D., (2005). 'Possible use of NIRS for the management of composting process.' Poster communication 12th International Conference on Near Infrared Spectroscopy, Sky City Auckland, New Zealand, 10-15 Avril 2005
- [2006-1] Thuriès L., Oliver R., Davrieux F., Bastianelli D., Pansu M. (2006) 'Transformations des apports organiques : application du modèle TAO à des matières de l'agro-industrie à partir de leur analyse biochimique mesurée ou estimée par Spectrométrie Proche Infra-Rouge (SPIR).' *Séminaire Réseau Matière Organique IHSS*, Carquairanne (France), 22-24 Janvier



Merci



- Fractionnement biochimique :
appareillage



6 postes creusets filtrants



24 postes sachets poreux